



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**NÁVRH PŘÍPRAVKU NA FRÉZOVÁNÍ DÍLŮ NA  
UNIVERZÁLNÍM SOUSTRUHU**

DESIGN OF AN EQUIPMENT FOR MILLING PARTS ON UNIVERSAL LATHE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Tomáš Koutný

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Petr Kočiš

**BRNO 2019**



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Tomáš Koutný**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Petr Kočiš**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Návrh přípravku na frézování dílů na univerzálním soustruhu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem studenta je navrhnout přípravek, který po upnutí na nožové sáně univerzálního soustruhu bude schopen zajistit frézování dílu celkem ve třech lineárních osách a jedné rotační ose.

### Cíle bakalářské práce:

Přehled současného stavu a poznání.  
Nejméně 2 návrhové varianty, jejich zhodnocení a výběr vhodné varianty.  
Konstrukční návrh vybrané varianty včetně kompletního 3D modelu.  
Základní strojírenské výpočty.  
Výkres sestavy.  
Výrobní výkresy, min. 3.

### Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014, 684 s. : il. ISBN 978-80-260-6780-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Cílem bakalářské práce je konstrukční řešení upínacího přípravku. V teoretické části budou popsány metody soustružení a frézování. Dále zde bude věnována pozornost upínacím mechanismům. V následující kapitole budou popsány konstrukční návrhy. V praktické části bude popsán konstrukční řešení vybrané varianty, která bude doplněná o funkční výpočty. Cílem je vymodelovat v CAD systému 3D model, který je doplněný o výkresovou dokumentaci sestavy a výrobní výkresy vybraných součástí.

## **ABSTRACT**

The aim of the presented bachelor thesis is to design a fixture for conventional workpieces. The theoretical part describes milling, turning and a great deal of attention is paid to mechanisms of different types of fixtures. Next part describes commonly used designs. The practical part covers designs of chosen fixture variants and also contains functional calculations. The aim is to create a 3D CAD model with technical documentation of assembly and technical documentation for crucial parts.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Upínací mechanismus, upínací přípravek, pevný svěrák, rám, výškový posuv

## **KEYWORDS**

Fixture mechanisms, Fixtures, Fixed vise, Frame, Hight shif



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KOUTNÝ, Tomáš. Návrh přípravku na frézování dílů na univerzálním soustruhu [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117649>.  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Petr Kočíš.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Petru Kočišovi za cenné odborné rady a podmětné připomínky, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Kočiše a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23.5.2019

.....

Koutný Tomáš



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>MOTIVACE.....</b>	<b>17</b>
2.1	Popis problémové situace .....	17
2.2	Motivace .....	17
2.3	Cíle.....	17
<b>3</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....</b>	<b>19</b>
3.1	Soustružení.....	19
3.2	Frézování .....	20
3.3	Upínací mechanismy.....	22
3.3.1	Univerzální sklíčidlo.....	23
3.3.2	Upínání mezi hroty .....	23
3.3.3	Upínání do kleštiny.....	24
3.3.4	Upínací lícní deska .....	24
3.3.5	Strojní svěráky .....	25
3.3.6	Strojní upínky .....	25
3.3.7	Univerzální dělicí přístroj .....	26
<b>4</b>	<b>KONSTRUKČNÍ VARINATY A JEJICH ŘEŠENÍ .....</b>	<b>27</b>
4.1	PRVNÍ KONSTRUKČNÍ VARIANTA.....	27
4.2	DRUHÁ KONSTRUKČNÍ VARIANTA.....	28
4.3	TŘETÍ KONSTRUKČNÍ VARIANTA.....	28
4.4	VYHODNOCENÍ A VYBĚR NÁVRHU .....	29
<b>5</b>	<b>KONSTRUKČNÍ NÁVRH VYBRANÉ VARIANTY.....</b>	<b>31</b>
5.1	Svěrák na obráběný materiál.....	31
5.2	Rotační člen .....	32
5.3	Výškový posuv a rámová konstrukce .....	34
5.4	Svěrák na upnutí přípravku.....	35
<b>6</b>	<b>FUNKČNÍ A PEVNOSTNÍ VÝPOČTY .....</b>	<b>37</b>
6.1	Kontrolní vypočet hřídele .....	37
6.1.1	Kinematický rozbor .....	37
6.1.2	Statický rozbor.....	37
6.1.3	Kontrola hřídele na mezní stav pružnosti .....	39
6.2	Výpočet momentu na trapézovém závitu pro výběr elektromotoru .....	42
6.3	Kontrola drážky pro pero .....	46
6.3.1	Pero drážka u šnekového soukolí .....	47
6.3.2	Pero drážka u rotační desky svěrák .....	48
<b>7</b>	<b>EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>51</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>55</b>
10.1	Seznam tabulek .....	55
10.2	Seznam obrázků.....	55
10.3	Seznam symbolů .....	55
<b>11</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>59</b>



# 1 ÚVOD

Upínací mechanismy jsou důležitou součástí při třískovém obrábění. Z důvodu vznikajících sil při obrábění musí být obráběný materiál pevně zafixován, aby nedošlo ke zranění obsluhy stroje nebo ke zničení okolního prostoru. Při rozvíjení strojního obrábění je kladen důraz na zrychlení výrobního procesu při minimálních nákladech. Tímto způsobem rozvoje se stává čím dále více důležitá volba správného upínacího mechanismu pro daný typ obrábění. U moderních obráběcích strojů disponujících možnostmi víceúčelového obrábění se snažíme docílit obrobení součásti na jedno upnutí.

Problém nastává na dílnách, kde se stále nachází ve větším množství starších typů obráběcích strojů, které nevyužívají číslíkové řízení ani počítačově číslíkové řízení. Znevýhodněné jsou hlavně menší obráběcí střediska, pro které se finančně nevyplatí nákup stroje v hodnotě stovek tisíc korun. Snahou je upravit staré obráběcí stroje, které využívají obrábění jednou metodou, aby byla možnost použít stojní zařízení pro zvětšení rozsahu použití.

Bakalářská práce se zabývá návrhem přípravku na frézování dílů na univerzálním soustruhu. Do sklíčidla se upne fréza, čímž se docílí možnosti provádět více operací na jednom stroji. Hlavní částí je vyřešení upnutí obráběného materiálu, u kterého je zajištěn pohyb ve třech lineárních osách a zajištění rotačního pohybu v jedné z lineárních os. Snahou je optimalizace přípravku pro upínání na univerzální soustruhy. Výsledkem práce jsou návrhy a 3D model, který je doplněný o výrobní výkresovou dokumentaci, výkresovou dokumentaci sestavy a základních strojírenských výpočtů.





## 2 MOTIVACE

### 2.1 Popis problémové situace

V dnešní době se na trhu prodávají CNC obráběcí stroje, na kterých je plně automatizovaná výroba. Na dílnách se stále vyskytují obráběcí stroje, na kterých je možnost manuálního nastavení posuvů, otáček, mazání řeznou kapalinou a jiných možností. Většina výrobních dílen má problém z hlediska přenášení obráběných polotovarů, měřidel, řezných kapalin z jednoho obráběcího stroje na druhý obráběcí stroj. Tímto problémem se ztrácí čas, který se může využít k zefektivnění výrobního procesu.

### 2.2 Motivace

Návrh a konstrukční řešení upínacího mechanismu umožní provádět výrobní operace na dvou nejčastěji vyskytujících se dílenských zařízeních. Konstrukčním řešením se snažíme docílit možnosti upínání nástroje frézy do sklíčidla na univerzálním soustruhu a upnutí obráběného materiálu na externí zařízení, které umožní zafixování obrobku a následné obrábění materiálu. Výsledkem by měla být možnost frézovat na univerzálním soustruhu. Čímž se docílí možnosti urychlení výrobního procesu.

### 2.3 Cíle

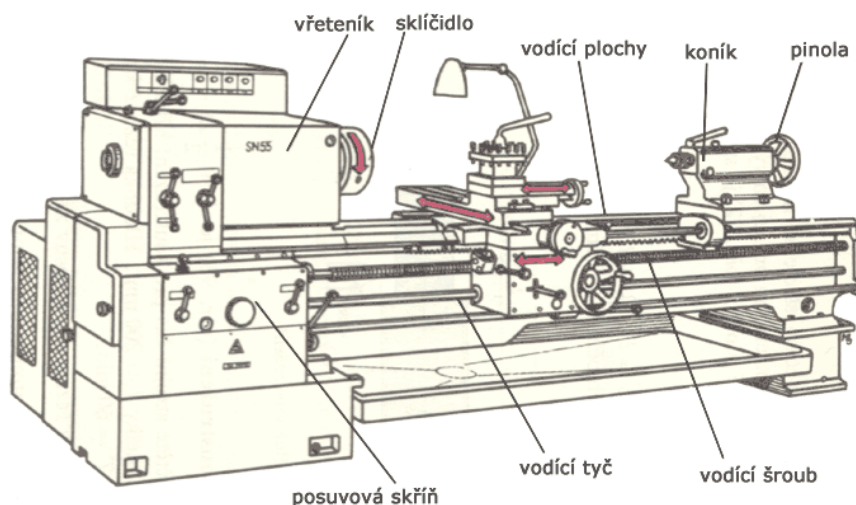
Cílem jsou konstrukční návrhy s výkresovou dokumentací, kdy vybraný návrh bude doplněn o pevnostní analýzu, statický rozbor a funkční výpočty sloužící k volbě materiálu, minimalizování bezpečnosti z důvodu, aby finální návrh nebyl předimenzován. U finální varianty budou uvedeny výhody a možnosti úprav návrhu, díky kterému se dostaneme k zdokonalení navržené soustavy.



## 3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 3.1 Soustružení

Soustružení je metoda obrábění jednobřítým nástrojem. Tato metoda je jedna z nejstarších metod obrábění. Jedná se o obrábění rotačních a rovinných plochy obráběné touto metodou. Stojní zařízení se nazývá soustruh a nástroj se nazývá soustružnický nůž. V současné době se provádí více než jedna třetina operací na soustruhu (např. řezání závitů, vrtání apod.). Na soustruzích se dají obrábět válcové, kuželové, kulové, obecné i rovinné rotační plochy, závity a jiné. [1]



Obr. 1 Univerzální soustruh - popis součástí [2]

Hlavní řezný pohyb při soustružení provádí obrobek, který je otáčivý. Nástroj provádí vedlejší řezný pohyb, kdy se jedná o podélný a příčný posuv. Naopak tomu je u frézování, broušení, vrtání, obrážení, hoblování apod. [1]

Soustružnické nástroje mají jednoduchou geometrii tvaru ostří a záleží na: [1]

- Materiálu ostří
- Konstrukci nástroje
- Směru posuvu nástroje
- Tvaru stopky nože
- Druhu obráběcího stroje.

Základní 4 typy nožů: [1]

- Radiální nože
- Tangenciální nože
- Prizmatické nože
- Kotoučové nože

Hlavními konstrukčními prvky na soustruhu jsou lože, supporty, vřeteník, koník, převodovka posuvů, převodovka otáček a elektromotor. Výše zmíněný soustruh se vyskytuje ve většině dílenských zařízení. [1]

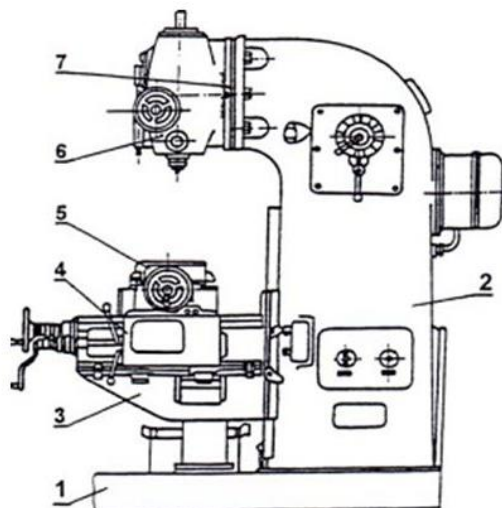
Soustruhy se dělí na: [1]

- Hrotové soustruhy
- Čelní soustruhy
- Svislé soustruhy
- Revolverové soustruhy
- Poloautomatické soustruhy
- Automatické soustruhy
- Soustruhy s číslicovým řízením (NC)
- Soustruhy s počítačovým číslicovým řízením (CNC)

Časem se soustruhy modernizovaly vznikaly nové možnosti ovládání přes NC řízení, až po CNC řídicí soustruhy, které se vyrábí v dnešní době.

### 3.2 Frézování

Frézování je metoda třískového obrábění vícebřitým nástrojem. Touto metodou dosáhneme obrobení tvarových a rovinných ploch z vnitřních a vnějších stran obráběných materiálů. Nástroj se nazývá fréza, která koná hlavní řezný pohyb rotační. Vedlejší řezný pohyb posuvný ve třech lineárních osách koná upnutý obráběný materiál. [1]



Obr. 2 Konzolová frézka svislá-popis součástí [3]

Obecné frézování se dělí podle dvou způsobů: [1]

Podle způsobu

- Frézování čelem čelní frézou
- Frézování obvodem válcovou frézou

### Frézovací nástroje se dělí podle různých kritérií: [1]

Podle výskytu a tvaru břitů:

- Čelní frézy
- Válcové frézy
- Kuželové frézy
- Kotoučové frézy
- Tvarové frézy

Podle tvaru zubů: [1]

- S podsoustruženými zuby
- S frézovanými zuby

Podle upínání: [1]

- Celistvé frézy
- Stopkové frézy
- Skládané frézy
- Nástrčné frézy
- VBD frézy – jsou frézy s výměnnými břitovými destičkami

Podle uspořádání zubů: [1]

- Se zuby do šroubovice
- S přímými zuby

Strojní zařízení se nazývají frézky. Stroje se vyskytují také ve velkém množství jako je u výše zmíněného soustruhu. Frézovací stroje mají oproti soustruhům mnohem širší spektrum modifikací. [1]

### Frézovací stroje dělíme: [1]

- Konzolové frézky
- Univerzální konzolové frézky
- Svislé konzolové frézky
- Vodorovné konzolové frézky
- Nástrojařské frézky
  - Kopírovací frézky
  - Rovinné frézky
  - Speciální frézky
    - Frézky na frézování drážek
    - Frézky na frézování vaček

U frézovacích strojů je obdobné modernizace jako u výše zmíněného soustruhu. V dnešní době se stále rozšiřuje u frézovacích nástrojů metoda VBD, u které stačí vymontovat opotřebenou břitovou destičkou, která se vymění za novou. [1; 4]

### 3.3 Upínací mechanismy

Mechanické upínky slouží k upínání nástroje a obrobku, kde se hlavně snažíme docílit jednoduchosti, tuhosti a pevnosti upnutí. Důležité na upínání je, aby se obráběný polotovár nedeformoval a neohýbal. Dalším důležitým faktorem je rychlost upínání, která závisí na velikosti, tvaru obráběného materiálu a složitosti upínacího mechanismu. Dále mechanické upínání nesmí bránit proměření součásti, odchodu materiálu a odtoku řezné kapaliny. [5]

Mechanické upínky se dělí podle různých kritérií: [1; 5]

Podle parametru obrobku:

- Hmotnost obrobku
- Geometrie obrobku
- Rozměry obrobku

Podle způsobu upnutí:

- Mechanické upínání
- Hydraulické upínání
- Pneumatické upínání
- Elektromagnetické upínání
- Kombinace výše zmíněných způsobů upínání

Podle výroby:

- Hromadná výroba
- Sériová výroba
- Kusová výroba

Podle prováděné operace:

- Soustružení
- Frézování
- Broušení
- Hoblování
- Vrtání, Vyhrubování a Vystružování

Mechanické upínání je nejpoužívanější metoda způsobu upnutí pro obrábění. Používá se u sériové výroby na běžných obráběcích strojích. Hydraulické a pneumatické upínání se používá u častého upínání obrobku v hromadných a sériových výrobach, ale jsou dražší oproti mechanickému upínání. Elektromagnetické upínání se používá u obrábění, kde vznikají vysoké řezné síly. Nejčastěji se nachází elektromagnetické upínání na bruskách. [1]

V dnešní době se na trhu vyskytuje mnoho upínacích mechanismů. Právě proto budou vybrány ty nejpoužívanější, které jsou součástí u metod třískového obrábění.

### 3.3.1 Univerzální sklíčidlo

Je nejpoužívanější upínací mechanismus na soustruhu. Slouží k upnutí válcových součástí. U válcových součástí delších rozměrů je důležité, aby byl obrobek opřen o hrot koníku. Nabízí se možnost upnutí obrobku za vnitřní i vnější plochu. Nejčastěji se můžeme setkat se čtyřčelistovým a tříčelistovým univerzálním sklíčidlem. [5; 6]



Obr. 3 Univerzální 3-čelistové sklíčidlo [7]

Univerzální sklíčidlo se skládá ze tří základních částí. První částí je talířové kolo, které má z jedné strany ozubené kolo a z druhé strany je použita Archimédova spirála. Ze strany kuželového talířového kola je protikus pastorek, ve kterém je čtyř-hraná díra pro utahovací klíč. Ze strany spirálového závitu jsou uloženy v T-drážkách upínací čelisti. Při použití utahovacího klíče docílíme roztočení Archimédovy spirály, která zajistí pohyb upínacích čelistí v radiálním směru a následné upnutí obráběného materiálu. [5]

### 3.3.2 Upínání mezi hroty

Upínání mezi hroty je další často používaný způsob upínání obrobků delších rozměrů mezi hrot vřetena a hrot koníku. Nejdříve se musí zarovnat čela obrobku na požadovanou délku a následně na čelech vyvrtat středící důlky ve tvaru a velikosti upínacích hrotů. Středící důlky slouží k vložení obrobku mezi hroty a přesnému uchycení, kdy osa obrobku je shodná s osou vřetena. Následně se přes unášecí srdce přenáší hlavní řezný pohyb z vřetena na obrobek. Při otáčení se unášecí srdce opírá o drážku v unášecí desce, která je našroubována na vřeteno soustruhu. [5; 6]



Obr. 4 Upínání mezi hroty [8]

### 3.3.3 Upínání do kleštiny

Tato metoda slouží k upnutí obrobku menších průřezů, základních tvarů jako jsou kruhové, čtvercové, šestiúhelníkové apod. průřezy. Upínání do kleštin je přesné a používá se v sériové a hromadné výrobě. Upíná se za vnější plochu, která sevře vloženou část obrobku do kleštin. [5]

Kleština je vyrobená jako kuželové kalené pouzdro. Naříznutím pouzdra následně vzniknou čelisti, díky kterým se upne obrobek pomocí tažného šroubu, který vtáhne kleštinu do kuželové dutiny tělesa hlavy. [5]



Obr. 5 Upínací kleština [9]

### 3.3.4 Upínací lící deska

Upínací lící deska je pro upnutí větších a těžších obrobků. Využívá se hlavně u kusové a malosériové výroby. Největší výhodou je možnost upnutí i jiných upínacích mechanismů na upínací lící desku. [5]



Obr. 6 Upínací lící deska [10]

Upínací lící deska je mechanismem i vzhledem podobná univerzálnímu sklíčidlu. Největším rozdílem je, že každá čelist se samostatně nastavuje, což nám umožňuje upínat nesouměrné obrobky. Nastavení se provádí pomocí šroubu se čtyřhrannou dírou pro utahovací klíč. Správnou polohu zajišťuje čep a matice s podložkou čímž docílíme pevnějšího a více spolehlivějšího upnutí než u sklíčidla. U nepravidelných tvarů se součást upíná pomocí závaží. Používá se dynamické i statické vyvažování. Vložením závaží do žebrovaného kotouče docílíme, že na stroji nebude vznikat chvění, které stroj poškodí. [5]



### 3.3.5 Strojní svěráky

Strojní svěráky slouží k upnutí malých a tvarově pravidelných obrobků. Malé obrobky se ustavují pomocí kovových podložek, díky kterým nevznikne riziko kontaktu nástroje se svěrákem. Po obrobku se klepe kladivem kvůli stavení obrobku a kovových podložek. Důležité je nedeformovat materiál. [6; 5]

Strojní svěráky mohou být: [5]

- Pevné svěráky
- Otočné svěráky
- Prizmatické středící svěráky
- Sklopné svěráky



Obr. 7 Pevný strojní svěrák [11]

Obecně se svěráky skládají z pevné čelisti. K upnutí obrobku dochází pohybem druhé čelisti za pomoci mechanického (manuálního), pneumatického nebo hydraulického (automatizovaného) upínání. [5]

### 3.3.6 Strojní upínky

Strojní upínky se používají u obrobků větších rozměrů a složitějších tvarů, které se upínají přímo na pracovní stůl obráběcího stroje. Je několik různých typů strojních upínek. Obrobek je přichycen buď pomocí opěrky, upínky, podpěry apod. Ke stolu se kotví pomocí T-drážek přes šroub se čtvercovou hlavou, stažené maticí s podložkou. Používají se nejčastěji u kusové a malosériové výroby. [5; 6]



Obr. 8 Posuvné ocelové upínky přímé se šrouby [12]

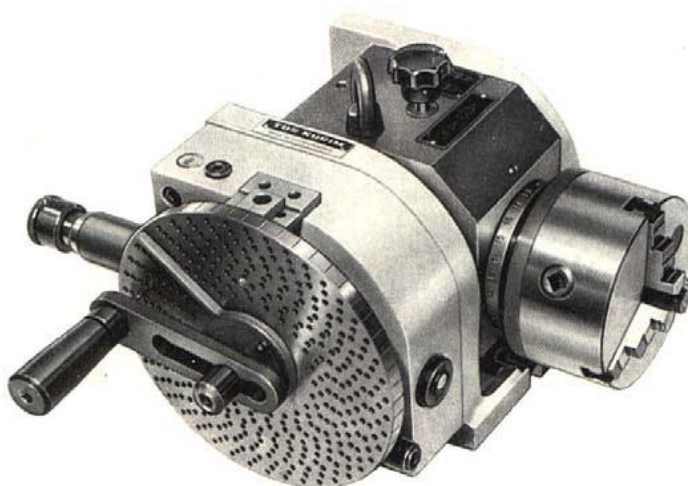
### 3.3.7 Univerzální dělicí přístroj

Slouží k pootočení obrobku o  $360^\circ$  určitý počet roztečí v závislosti na úhlu, které se vyměřují na dělicím kotouči. Používá se například pro frézování zubové mezery u ozubených kol, vícehranu apod. Univerzální dělicí přístroj umožňuje přímé, nepřímé a diferenciální dělení. Obrobek se upíná k dělicímu přístroji přes univerzální sklíčidlo nebo upínací desku. [1; 5; 4]

Přímé dělení umožňuje dělicí kotouč nasazený a fixovaný na přední konec dělicího vřetena na jehož obvodě je 24, 36, 48 otvorů do kterých zapadá kolík. Vřeteno se musí otočit o určitý počet otvorů a zajistit západkou. [1; 4]

Nepřímé dělení umožňuje, že se vřeteno otáčí pomocí kliky. Je zde vložen šnekový mechanismus, který má převodový poměr 1:40. Dělicí klika zapadá do otvorů na dělicím kotouči, který má v soustředných kruzích různý počet děr. [1; 4]

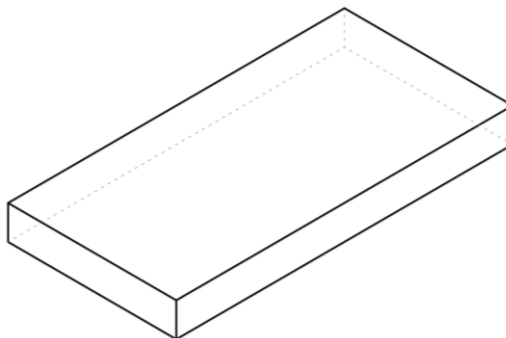
Diferenciální dělení je podobné jako nepřímé dělení. Umožňuje dělit libovolně obvod na počet odstupňovaných děr na dělicím kotouči. [1; 4]



Obr. 9 Univerzální dělicí přístroj [4]

## 4 KONSTRUKČNÍ VARINATY A JEJICH ŘEŠENÍ

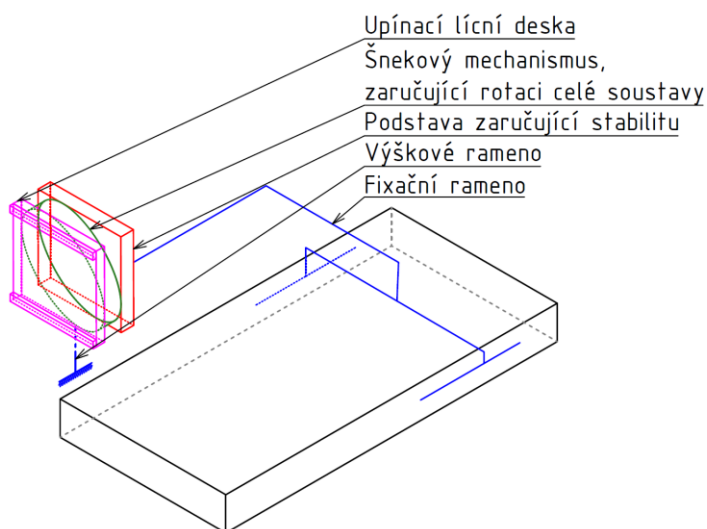
Při výběru konstrukčního návrhu je nejdůležitější zvolit nejvýhodnější variantu ze tří níže uvedených návrhů. Při navrhování byl kladen důraz na řešeršní část bakalářské práce, ve které jsou popsány upínací mechanismy vyskytující se na trhu. Nejdůležitější je možnost rychle upnout a odepnout obráběný materiál. Výsledné konstrukční řešení by měl splňovat účel ve strojně zaměřených firmách.



Obr. 10 Schématické značení nožových sání

### 4.1 PRVNÍ KONSTRUKČNÍ VARIANTA

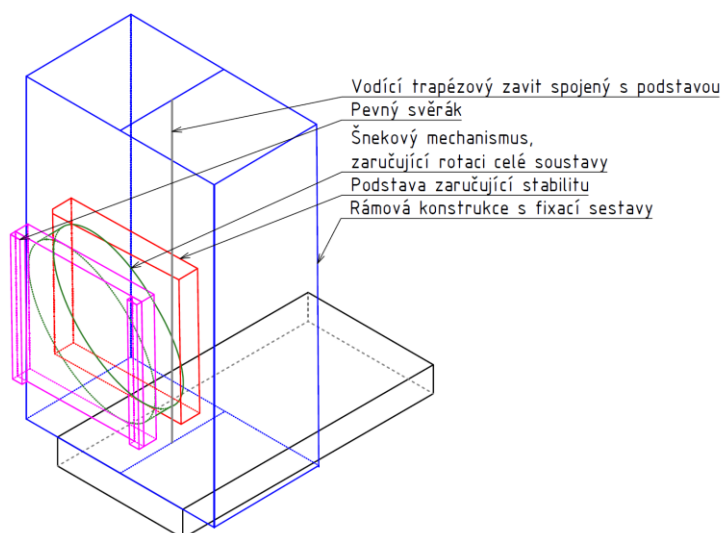
První varianta upínacího mechanismu je navržena tak, že mechanismus se připojí k nožovým saním, aniž by se musely nožové saně upravovat. Přípravek pro upínání obrobku je upevněn ve dvou místech kvůli stabilitě. První upínací část je za nožovou hlavou přes stojní svěrák, ze kterého je vyvedeno upravené rameno kvůli upnutí přípravku. Druhá upínací část je z upínacího přípravku přes podpěrné rameno s možností výškového posuvu, které je upevněno v prizmatické drážce a kopíruje podélný posuv přípravku s nožovými saněmi. Hlavní část upínacího přípravku se skládá ze šnekového soukolí, kvůli zajištění rotace a upínací lícní desky, ke které je upevněno ozubené kolo napevno a slouží hlavně k upnutí atypických tvarů obrobků.



Obr. 11 První schématický konstrukční návrh

## 4.2 DRUHÁ KONSTRUKČNÍ VARIANTA

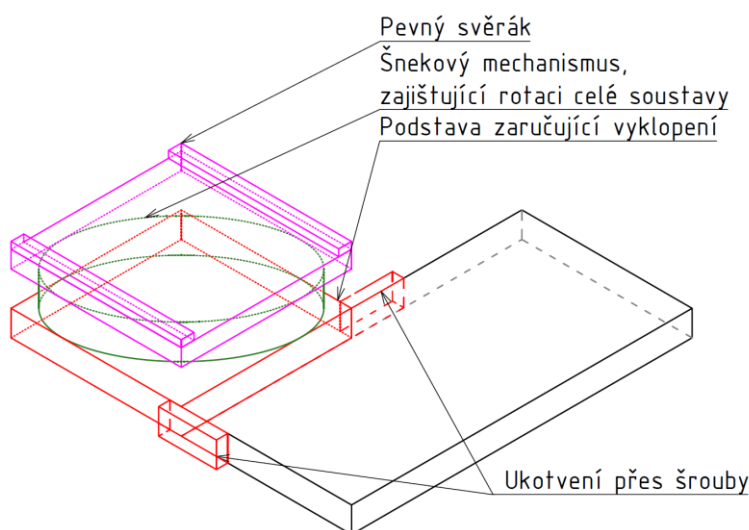
Druhá varianta upínacího mechanismu je navržena tak, že nožová hlava se vyšroubuje. Místo nožové hlavy se přes pevný svěrák ukotví upínací mechanismus. Upínací mechanismus se skládá z rotační části, na kterou je upnutý pevný svěrák pro upnutí obráběného materiálu. Rotační část je ukotvena k rámové konstrukci přes trapézový závit a lineární vedení. Nad ukotvením je zaručena rotace šnekovým soukolím jako u prvního konstrukčního návrhu. Hřídel, která vystupuje ze šnekového soukolí jako hnaný člen je upevněna přes válcovou desku, dále ukotvená k pevnému svěráku, do kterého se upne obráběný materiál.



Obr. 12 Druhý schématický konstrukční návrh

## 4.3 TŘETÍ KONSTRUKČNÍ VARIANTA

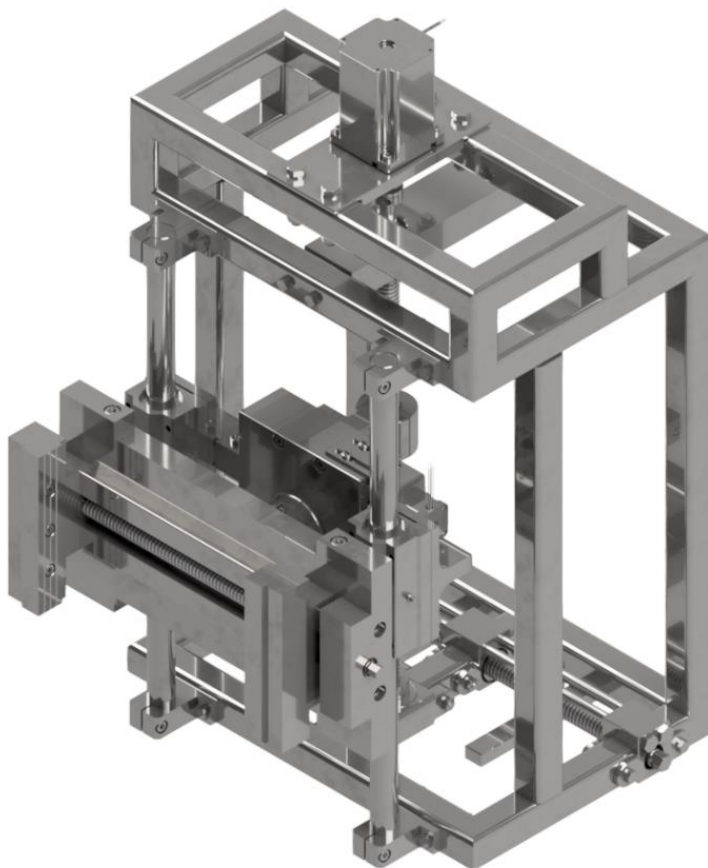
Třetí varianta upínacího mechanismu je spojena s nožovými saněmi přes šroubový spoj. Nevýhodou jsou vyvrtané díry se závitem na nožových saních. Nad kotvením je ozubené soukolí zajišťující rotaci obráběného materiálu. Na ozubené kolo je fixována upínací lící deska. Na upínací lící desku se přes vyfrézované T-drážky upínají upínky se šrouby a opěrkami. Upínky fixují obráběný materiál pro následné obrábění.



Obr. 13 Třetí schématický konstrukční návrh

#### 4.4 VYHODNOCENÍ A VYBĚR NÁVRHU

Z důvodu méně složité konstrukce, levnější možnosti výroby a univerzality celé konstrukční varianty byl vybrán druhý návrh. Velkou konstrukční výhodou je jednoduchost a plynulost ovládání. Nevýhodou je poměrně vysoká hmotnost způsobená velkou tloušťkou krycích materiálů díky, které dochází ke snížení chvění celého upínacího přípravku z důvodu rázu od obrábění frézou. Další velkou nevýhodou je prodražení přípravku z důvodu velkého množství komponent, které nejsou normalizované.



Obr. 14 Vizualizace upínacího přípravku



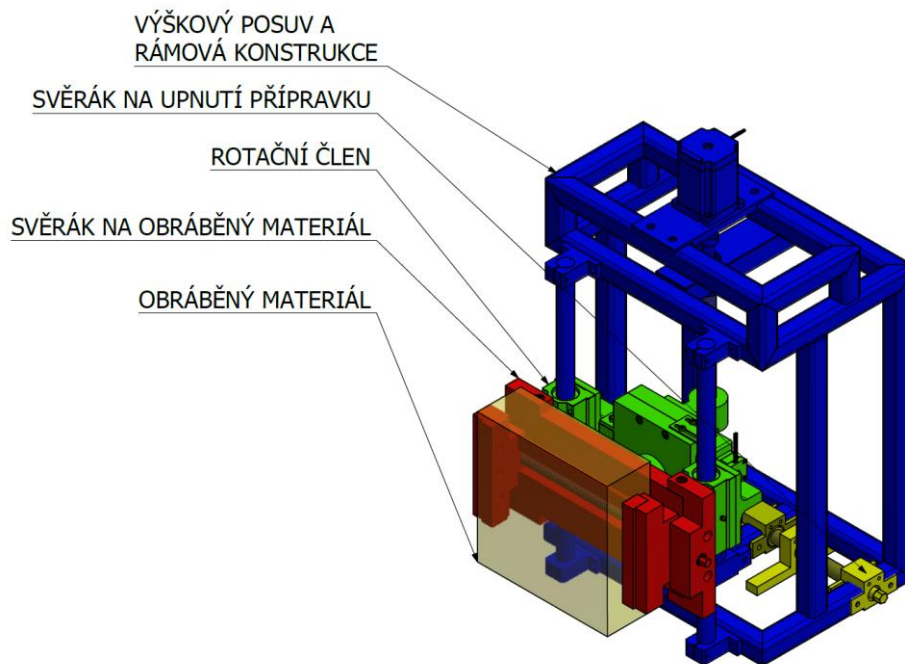
## 5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VYBRANÉ VARIANTY

V této kapitole bude technicky popisována vybraná druhá konstrukční varianta. Posuv je zajištěný ve dvou osách soustruhem, třetí posuv je zajištěný výškovým posuvem na přípravku a rotace je zaručena rotačním členem přes šnekové soukolí. Záměrem je popsat celou konstrukci z hlediska výroby nenormalizovaných dílů, normalizovaných dílů a výběrem materiálů pro použité součásti.

Rozdělení upínacího přípravku:

- Svěrák na obráběný materiál
- Rotační člen
- Výškový posuv a rámová konstrukce
- Svěrák na fixaci přípravku

Obráběný materiál může mít maximální rozměry 300x300x100 mm. Dále jsme si stanovili řeznou sílu  $F_{ci} = 1500 \text{ N}$  vyskytující se u jemného obrábění. Upínací přípravek není stavěný pro obrábění velkého množství materiálu za co nejkratší čas.



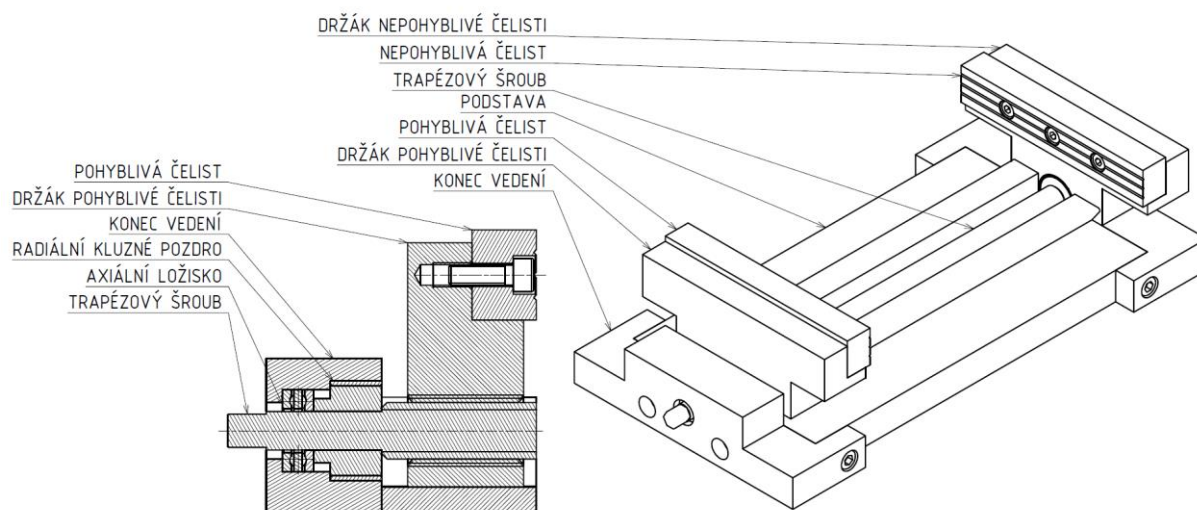
Obr. 15 Upínací přípravek – popis součástí

### 5.1 Svěrák na obráběný materiál

Tato část upínacího přípravku slouží k upnutí obráběného materiálu. Skládá se z pohyblivé a nepohyblivé čelisti, které jsou uchycené v držácích přes rozebíratelný šroubový spoj. Držák pohyblivé čelisti je prizmaticky vedený s podstavou. Uchycení nepohyblivé čelisti je spojeno šroubovým spojením s podstavou. Z druhé části je podstava spojena šroubovým spojem s koncem vedení. Lichoběžníkový rovnoramenný šroub TR22x5 je uložený mezi držákem pevné části a koncem vedení v axiálním ložisku a radiálním kluzném pouzdru. Kvůli stabilizování polohy ložisek je zde použit distanční kroužek, který je uložený se šroubovým vedením s přesahem. Přes lichoběžníkový závit je posunována pohyblivá čelist s držákem



pohyblivé čelisti. Držák pohyblivé čelisti je spojen s podstavou přes prizmatické vedení, které zabraňuje klopnému momentu.



Obr. 16 Svěrák na obráběný materiál – popis součástí

**Lichoběžníkový závit** TR22x5 je z uhlíkové oceli C45E, která bude mít úpravy soustružením a následným broušením kvůli uchycení v distančních kroužcích, ložiscích a kluzných pouzdech.

**Čelisti** jsou vyrobené z měkké oceli C45U, která je vhodná pro použití a je dobře obrobitelná. Součásti jsou vyráběné frézováním, vrtáním a následným broušením.

**Podstava** je vyrobená z neušlechtilé konstrukční oceli E295. Součást je frézovaná, vrtaná a broušená.

**Distanční kroužky** jsou vyrobené z neušlechtilé konstrukční oceli E295. Součásti jsou obráběné soustružením, vrtáním a broušením.

**Konec vedení** je vyrobený z neušlechtilé konstrukční oceli E295. Součást je frézovaná, vrtaná a broušená.

**Uchycení pohyblivé a nepohyblivé čelistí** jsou vyrobené z neušlechtilé konstrukční oceli 1.0050. Součásti jsou frézované, vrtané a broušené.

**Radiální kluzné pouzdra** jsou normalizované díly vybrané od firmy SKF CZ, a.s.

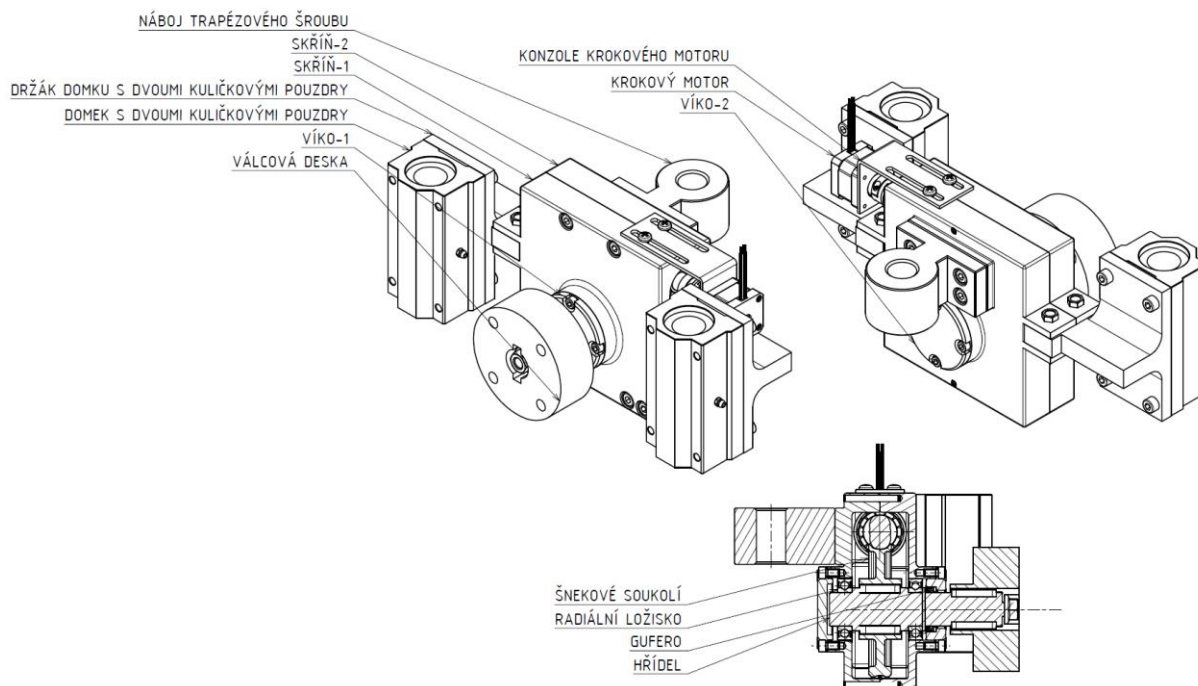
**Axiální ložiska** jsou normalizované díly vybrané od firmy SKF CZ, a.s.

## 5.2 Rotační člen

Kvůli zajištění rotace slouží rotační člen, který je upnutý ke svěráku na obráběný materiál přes válcovou desku. Základním členem rotačního členu je šnekové soukolí uložené ve skříni. Šnekové soukolí je mazáno polotuhým plastickým mazivem. Šnek je uložený v kuželíkových ložiscích, které zadržuje axiální a radiální složku síly. Šnek vystupuje ze skříně do hřídelové spojky oldham, do které je z druhé strany uchycený krokový motor NEMA 23 s krouticím momentem 0,47 [N.m]. Krokový motor je uchycený ke Skřín-1 a Skřín-2 šroubovým spojením přes konzoli. Šnekové kolo je spojené s hřídelí přes těsné pera. Hřídel je uložená v radiálních ložiscích a má na konci závit, který složí ke stáhnutí válcové desky přes matici s pružnou



podložkou. Krouticí moment je přenášén na válcovou desku přes těsné pero. Ke skříní je uchycený přes šroubové spojení s uchycením u dvou kuličkových pouzder v domku.



Obr. 17 Rotační člen – popis součástí

**Šnekové soukolí** je vyrobené z neušlechtilé konstrukční oceli E295. Součásti jsou obráběné frézováním, soustružením, vrtáním a broušením.

**Konzole krokového motoru** je pásovina plechu z materiálu S235, která je vhodná pro tváření. Součást je ohýbána a obráběna frézováním.

**Víka** jsou vyrobené z neušlechtilé konstrukční oceli E295. Součásti jsou obráběné frézováním, soustružením, vrtáním a broušením.

**Hřídel** je vyrobená z neušlechtilé konstrukční oceli E295. Součást je obráběná frézováním, soustružením, vrtáním a broušením.

**Distanční kroužky** jsou vyrobené z neušlechtilé konstrukční oceli E295. Součásti jsou obráběné soustružením, vrtáním a broušením.

**Válcová deska** je vyrobená z neušlechtilé konstrukční oceli E295. Součást je obráběná obrážením, frézováním, soustružením a vrtáním.

**Uchycení u dvou kuličkových pouzder v domku** jsou vyrobené z neušlechtilé konstrukční oceli 1.0050. Součásti jsou obráběné frézováním a vrtáním.

**Skříň-1 a skříň-2** jsou vyráběné z litiny s lupínkovým grafitem ČSN 42 2420, která je běžně používaná na odlitky. Součásti jsou odlévané do formy, kde funkční plochy budou obráběny běžným obráběním na víceúčelovém CNC stroji.

**Radiální ložiska** jsou normalizované díly vybrané od firmy SKF CZ, a.s.

**Kuželíkové ložiska** jsou normalizované díly vybrané od firmy SKF CZ, a.s.

**Těsná pera** jsou normalizované díly vyráběné z uhlíkové oceli k zušlechtění a povrchovému kalení. Materiál je C45E.

**Gufero** je normalizovaný díl vybraný od firmy SKF CZ, a.s.

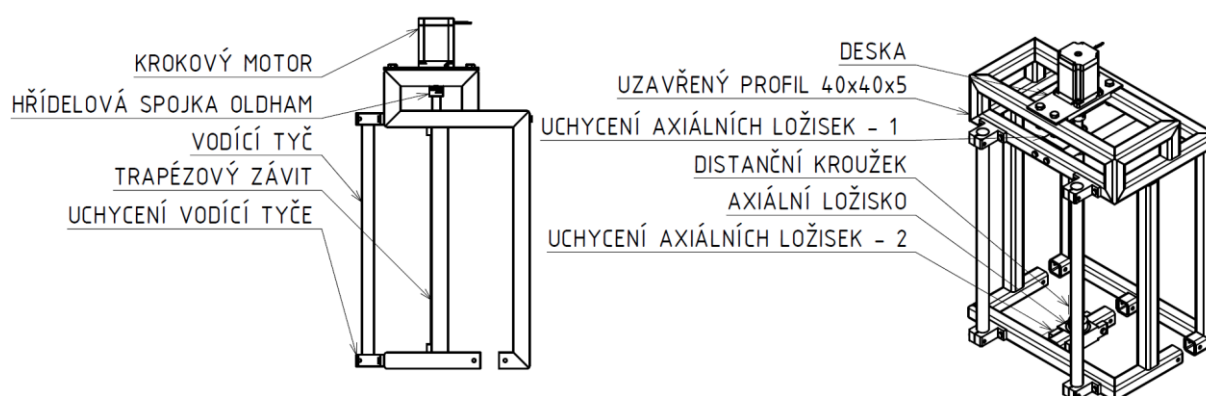
**Hřídelová spojka OLDHAM** je běžně prodávána a vybraná od firmy HIWIN s.r.o.

**Krokový motor NEMA23** s kroutícím momentem 0,47 [N.m] je běžně prodáváný a vybraný od firmy Raveo s.r.o.

**Domky dvou kuličkových pouzder** jsou normalizované díly vybrané od firmy HIWIN s.r.o.

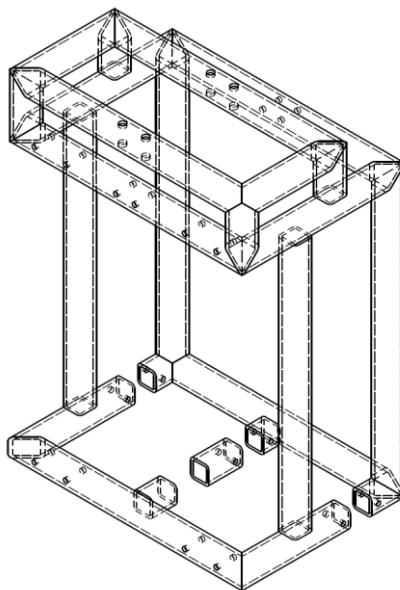
### 5.3 Výškový posuv a rámová konstrukce

Díly jsou připojené na rotačním členu a rámové konstrukci. Základ tvoří trapézový šroub TR26x5, který je vložený v axiálních ložiscích. Výstup trapézového závitu je vložený do hřídelové spojky oldham. V druhém výstupu hřídelové spojky oldham je vložený krokový motor NEMA 34 s kroutícím momentem 7,6 [N.m]. Krokový motor je ukotvený k rámové konstrukci přes desku, které jsou spojené rozebíratelným šroubovým spojením. Rotační člen je spojený se závitovým nábojem přes šroubové spojení. Závitový náboj je spojený s trapézovým závitem TR26x5 a zajišťuje výškový zdvih ve stabilizované poloze. Přes rotační člen je spojení uchycení domku se dvěma pouzdry rozebíratelným šroubovým spojením. V pouzdrech lineárního setu je vložena vodící tyč, která zabraňuje klopení obráběného materiálu. Vodící tyče jsou spojené s rámovou konstrukcí přes držáky vodících tyčí.



Obr. 18 Výškový posuv a rámová konstrukce – popis součástí

Rámovou konstrukci tvoří svařené uzavřené profily čtvercového průřezu 40x40x5 [mm]. Jekly jsou svařené obalenou elektrodou. Ve svařené rámové konstrukci jsou vloženy frézované díly, které slouží k upevnění rotačních částí výškového posuvu.



Obr. 19 Rámová konstrukce

**Uzavřený profil čtvercového průřezu** 40x40x5 [mm] různých délek řezaný na rámové pile a svařené obalenou elektrodou.

**Vodící tyče** jsou normalizované díly vybrané od firmy HIWIN s.r.o.

**Uchycení vodících tyčí** jsou normalizované díly vybrané od firmy HIWIN s.r.o.

**Trapézový šroub** jsou normalizované díly vybrané od firmy HIWIN s.r.o. Součást je dodatečně obráběná soustružením, kvůli fixaci šroubové tyče.

**Distanční kroužky** jsou vyrobené z neušlechtilé konstrukční oceli E295. Součásti jsou obráběné soustružením, vrtáním a broušením.

**Hřídelová spojka OLDHAM** je běžně prodávaná a vybraná od firmy HIWIN s.r.o.

**Uchycení axiálních ložisek** jsou vyrobené z neušlechtilé konstrukční oceli E295. Součásti jsou obráběné frézováním, vrtáním a broušením.

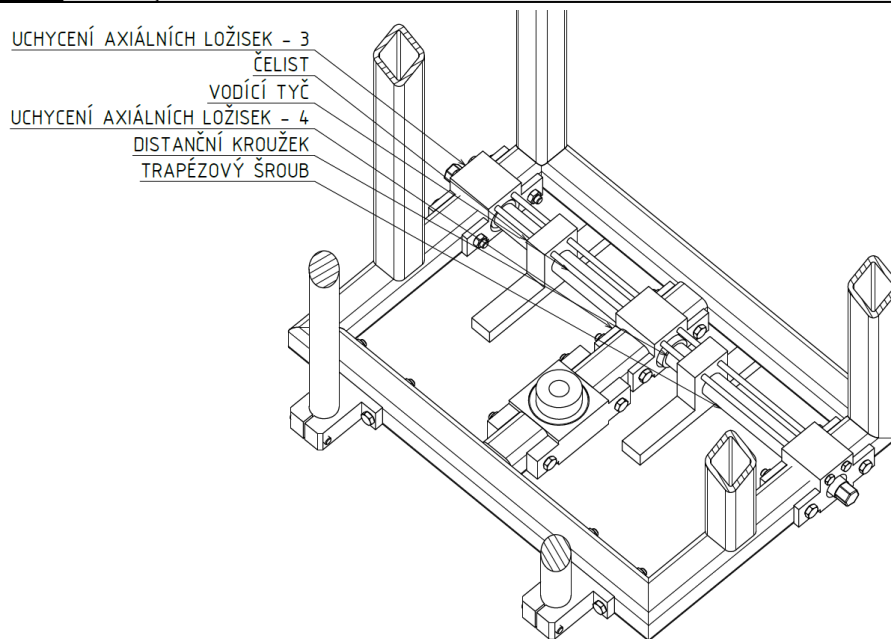
**Axiální ložiska** jsou normalizované díly vybrané od firmy SKF CZ, a.s.

**Deska** je vyrobená z neušlechtilé konstrukční oceli E295. Součást je obráběná frézováním a vrtáním.

**Krokový motor NEMA34** s kroutícím momentem 7,6 [N.m] je běžně prodávaný a vybraný od firmy Raveo s.r.o.

## 5.4 Svěrák na upnutí přípravku

Ve spodní části rámové konstrukce jsou spojeny šroubovým spojením dva typy úchytů axiálních ložisek. Axiální ložiska přenáší síly vznikající od trapézových šroubu. Trapézový šroub má uložené s přesahem distanční kroužky. Svírání zaručuje čelist, která je vedena v trapézovém šroubu a ve dvou vodících tyčí průměru 6 [mm]. Vodící tyče jsou uchycené ve vrchní části u obou typů držáků axiálních ložisek, na kterých jsou vyvrtané díry. Každá čelist je samostatně polohovatelná, čím se zaručí možnost ukotvení v různých polohách.



Obr. 20 Svěrák na upnutí přípravku-popis součástí

**Axiální ložiska** jsou normalizované díly vybrané od firmy SKF CZ, a.s.

**Uchycení axiálních ložisek – 3** a **uchycení axiálních ložisek – 4** jsou vyrobené z neušlechtilé konstrukční oceli E295. Součásti jsou obráběné frézováním, soustružením a vrtáním.

**Vodící tyče** jsou normalizované díly vybrané od firmy HIWIN s.r.o.

**Trapézové šrouby** jsou normalizované díly vybrané od firmy HIWIN s.r.o. Trapézové šrouby jsou obráběné soustružením.

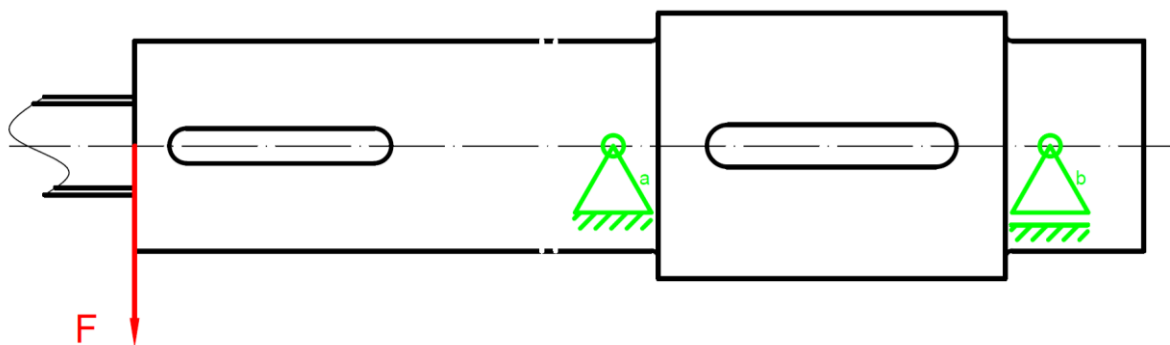
**Distanční kroužky** jsou vyrobené z neušlechtilé konstrukční oceli E295. Součásti jsou obráběné soustružením, vrtáním a broušením.

## 6 FUNKČNÍ A PEVNOSTNÍ VÝPOČTY

### 6.1 Kontrolní vypočet hřídele

Výpočty se vztahují na hřídel spojující rotační člen a pevný svěrák přes upravenou desku, která je vyhodnocena jako jedna z nebezpečných míst celé konstrukce.

Bude provedena kontrola na kinematický rozbor, jejímž výstupem bude určení stupňů volnosti. Dále se bude kontrola vztahovat na statický rozbor, jejímž výstupem bude vyčíslení sil v reakčních členech a následně bude hřídel zkontrolována na mezní stav pružnosti.



Obr. 21 Hřídel v nezatíženém stavu

#### 6.1.1 Kinematický rozbor

Výpočet se skládá z vyhodnocení pohyblivosti hřídele. Určení pohyblivosti varianty u hřídele uložené v ložiscích bez kroutícího momentu se spočítá ze vztahu:

$$i = i_v - \left( \sum \xi_i - \eta \right) \quad [13] \quad (6.1)$$

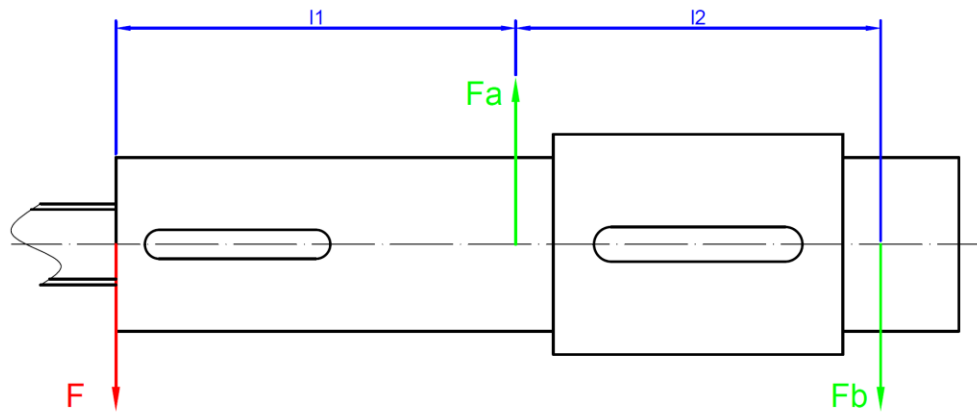
$$i_k = 3 - (2 + 1 - 0) = 0^\circ$$

Kde:

- $i_k$  počet stupňů volnosti pro zadaný případ
- $i_v$  počet stupňů volnosti volného tělesa ( $2D \ i_v = 3$  ;  $3D \ i_v = 6$  )
- $\sum \xi_i$  počet složek pohybu odebrané vazbami
- $\eta$  počet deformačních parametrů odebraných stykovými vazbami

#### 6.1.2 Statický rozbor

Statický a kinematický rozbor spolu souvisí. V tomto případě se bude počítat hřídel, který je uložený v ložiscích a není zatížen kroutícím momentem. Napřed si uvolníme vazby a dále se bude počítat, zda je úloha staticky určitá. Pokud je úloha staticky určitá, tak můžeme sestavit statické rovnice a vyčíslit neznámé parametry.



Obr. 22 Úplně uvolněná hřídel

Počet stupňů volnosti pro zadaný hřídel ve 2D:

$$\vartheta = 2 \quad (\vartheta_F = 1, \vartheta_M = 1, \vartheta_R = 0)$$

Kde:

- $\vartheta_F$       určení počtu volností u silových podmínek
- $\vartheta_M$       určení počtu volností u momentových podmínek
- $\vartheta$         celkový počet volností

Neznámé parametry:

$$NP: \{F_a, F_b\} \quad \mu = 2$$

$$\mu_F = 2$$

$$\mu_M = 0$$

$$\mu_r = 0$$

Vyhodnocení podmínky statické určitosti:

$$\vartheta = \mu \wedge \mu_r + \mu_M \leq \vartheta_M \quad \text{vyhovuje}$$

U hřídele je možné vypočítat neznámé parametry.

Kde:

- $\mu_F$               neznámé silové parametry
- $\mu_M$               neznámé momentové parametry
- $\mu_r$               neznámé vzdálenosti
- $\mu$                 celkový počet neznámých

Vypočet zatěžující síly:

$$m_o = 70,65 \text{ kg}$$

$$m_s = 33,95 \text{ kg}$$

$$F = m * g$$

[14] (6.2)

$$F_{G(o+s)} = (70,65 + 33,95) * 9,81 = 1019,89 \text{ N}$$

Kde:

$F_{G(o+s)}$	tíhová síla od obrobku a svěráku
$m_o$	hmotnost obrobku
$m_s$	hmotnost svěráku
$g$	gravitační zrychlení (konstantní), $g = 9,81 \left[ \frac{m^2}{s} \right]$

Sestavení statických rovnic:

$$\sum F_y = 0 : F_a - F_b - F_{G(o+s)} = 0 \quad [15] \quad (6.3)$$

$$\sum M_a = 0 : F_{G(o+s)} * l_1 - F_b * l_2 = 0 \quad [15] \quad (6.4)$$

Úpravou rovnic (6.3) a (6.4) dostaneme vyčíslení neznámých parametrů:

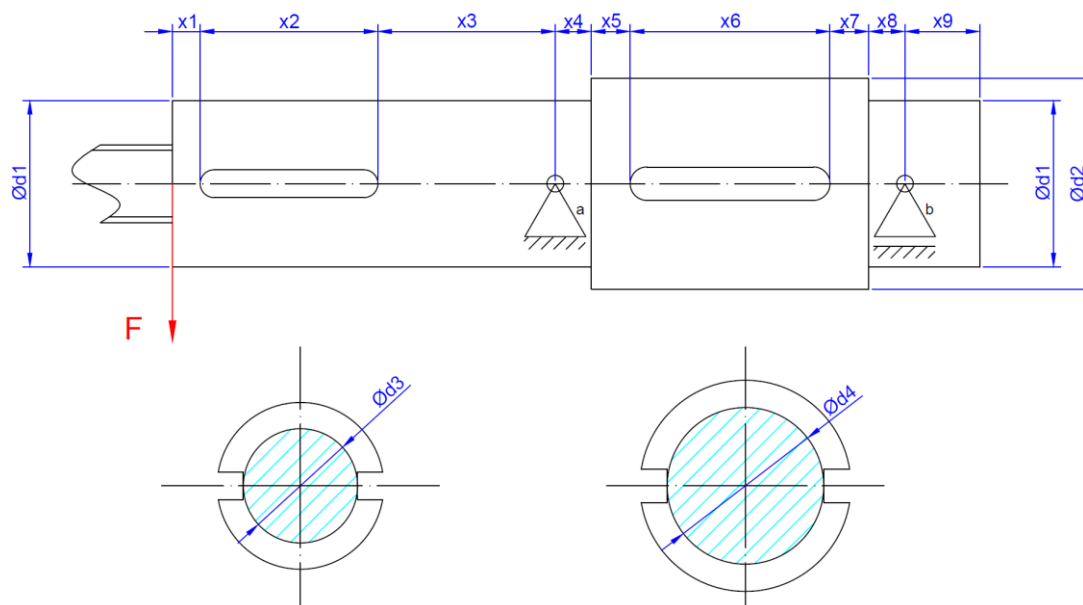
$$F_a = 1019,89 + 1123,47 = 2279,50 \text{ N}$$

$$F_b = 1019,89 * \frac{77}{63} = 1253,73 \text{ N}$$

### 6.1.3 Kontrola hřídele na mezní stav pružnosti

Hřídel bude zkontrolována na mezní stav pružnosti. Bude zde navržený materiál tak, aby při zatížení nebyla překročena mez kluzu " $R_e$ " materiálu hřídele. Při překročení meze kluzu dojde ke vzniku makro-plastických deformací. Stav, který nastane při přetížení je nevratný.

Hřídel bude kontrolován v nezatíženém stavu, kdy bude ve svěráku upnut obrobek. Kontrola se bude stahovat k zatíženému tělesu na ohyb, které bude mít zatížení od hmotnostní složky a bude mít konstantní průběhy. Bude se počítat s největším možným rozměrem obrobku, který má rozměry 300x300x100 [mm].



Obr. 23 Rozměry hřídel

Vzdálenosti  $x_i$  a průměry  $d_i$  jsou definované z rozměru hřídele:

$$x_1 = 5 \text{ mm}$$

$$x_2 = 40 \text{ mm}$$

$$x_3 = 32 \text{ mm}$$

$$x_4 = x_7 = 6,5 \text{ mm}$$

$$x_5 = x_8 = 7 \text{ mm}$$

$$x_6 = x_9 = 18 \text{ mm}$$

$$d_1 = 30 \text{ mm}$$

$$d_2 = 38 \text{ mm}$$

$$d_3 = 21,8 \text{ mm}$$

$$d_4 = 28,6 \text{ mm}$$

Osové kvadratické momenty:

$$J_y = \frac{\pi * d^4}{64} \quad [13] \quad (6.5)$$

$$J_{y1} = \frac{\pi * 30^4}{64} = 39760,78 \text{ mm}^4$$

$$J_{y2} = \frac{\pi * 38^4}{64} = 102353,87 \text{ mm}^4$$

$$J_{y3} = \frac{\pi * 21,8^4}{64} = 11086,54 \text{ mm}^4$$

$$J_{y4} = \frac{\pi * 28,6^4}{64} = 32842,34 \text{ mm}^4$$

Kde:

$d_i$  průměr hřídele v místě řezu

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{oi} = \frac{M_o}{J_y} * z_{max} = \frac{F * x}{J_y} * \frac{d}{2} \quad [13] \quad (6.6)$$

$$\sigma_{o1} = \frac{-F_{G(o+s)} * x_1}{J_{y1}} * \frac{d_1}{2} = -1,94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o2} = \frac{-F_{G(o+s)} * x_1}{J_{y1}} * \frac{d_1}{2} + \frac{-F_{G(o+s)} * x_2}{J_{y3}} * \frac{d_3}{2} = -42,38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o3} = \frac{-F_{G(o+s)} * (x_1 + x_3)}{J_{y1}} * \frac{d_1}{2} + \frac{-F_{G(o+s)} * x_2}{J_{y3}} * \frac{d_3}{2} = -54,66 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{o4} = \frac{[-F_G * (x_1 + x_3 + x_4)] + F_{a*}x_4}{J_{y1}} * \frac{d_1}{2} + \frac{-F_G * x_2}{J_{y3}} * \frac{d_3}{2} = -51,59 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o4nom} = \sigma_{o4} * \alpha = -118,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o5} = \frac{[-F_{G(o+s)} * (x_1 + x_3 + x_4)] + F_{a*}x_4}{J_{y1}} * \frac{d_1}{2} + \frac{-F_{G(o+s)} * x_2}{J_{y3}} * \frac{d_3}{2} +$$

$$+ \frac{(-F_{G(o+s)} * x_5) + F_{a*}x_5}{J_{y2}} * \frac{d_2}{2} = -49,96 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o6} = \frac{[-F_{G(o+s)} * (x_1 + x_3 + x_4)] + F_{a*}x_4}{J_{y1}} * \frac{d_1}{2} + \frac{-F_{G(o+s)} * x_2}{J_{y3}} * \frac{d_3}{2} +$$

$$+ \frac{(-F_{G(o+s)} * x_5) + F_{a*}x_5}{J_{y2}} * \frac{d_2}{2} + \frac{(-F_{G(o+s)} * x_6) + F_{a*}x_6}{J_{y4}} * \frac{d_4}{2} = -40,13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o7} = \frac{-F_b * x_7}{J_{y1}} * \frac{d_1}{2} = -3,07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o7nom} = \sigma_{o7} * \alpha = -67,07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o8} = \frac{-F_b * x_7}{J_{y1}} * \frac{d_1}{2} + \frac{-F_b * x_8}{J_{y2}} * \frac{d_2}{2} = -4,70 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o9} = \frac{-F_b * x_7}{J_{y1}} * \frac{d_1}{2} + \frac{-F_b * x_8}{J_{y2}} * \frac{d_2}{2} + \frac{-F_b * x_9}{J_{y4}} * \frac{d_4}{2} = -14,53 \text{ MPa}$$

Nejvyšší hodnota ohybového napětí:

$$\sigma_{omax} = \max\{|\sigma_{o1}|; |\sigma_{o2}|; |\sigma_{o3}|; |\sigma_{o4}|; |\sigma_{o4nom}|; |\sigma_{o5}|; |\sigma_{o6}|; |\sigma_{o7}|; |\sigma_{o7nom}|; |\sigma_{o8}|; |\sigma_{o9}|\}$$

$$= |\sigma_{o4nom}| = 118,65 \text{ MPa}$$

Kde:

- $d_i$  průměr hřídele v místě řezu
- $x_i$  vzdálenost hřídele v místě řezu
- $J_{yi}$  osový kvadratický moment v místě řezu

Zvolený materiál hřídele je E295, kdy konstrukční ocel je používána pro strojní součásti staticky i dynamicky namáhané. Ocel se dá zušlechtit, ale nepoužívá se na svařování. [16]

$$R_{emin} = 175 \text{ MPa} [17]$$

$$R_{emax} = 215 \text{ MPa} [17]$$

$$\overline{R_e} = \frac{R_{emax} + R_{emin}}{2} \quad (6.7)$$

$$\overline{R_e} = \frac{215 + 175}{2} = 195 \text{ MPa}$$

Kde:

$\overline{R_e}$	aritmetický průměr z max a min meze kluzu
$R_{emin}$	minimální dovolené napětí meze v kluzu pro ocel 1.0050
$R_{emax}$	maximální dovolené napětí meze v kluzu pro ocel 1.0050

Bezpečnost hřídele k meznímu stavu bezpečnosti:

$$k_k = \frac{R_e}{\sigma_{omax}} \quad [13] \quad (6.8)$$

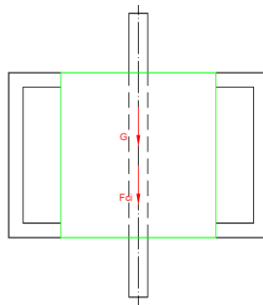
$$k_k = \frac{195}{118,65} = 1,64$$

Kde:

$k_k$	bezpečnost k meznímu stavu pružnosti
$\overline{R_e}$	aritmetický průměr z max a min meze kluzu
$\sigma_{omax}$	nejvyšší hodnota napětí na zatíženém hřídeli

## 6.2 Výpočet momentu na trapézovém závitě pro výběr elektromotoru

Výpočty se vztahují k vypočítání spouštěcího a zvedacího momentu, který se skládá z řezné síly a tíhových sil od obrobku (uvažujeme největší rozměr), svěráku obrobku a rotační části upínacího přípravku. V této kapitole napřed zjistíme konstanty a definujeme výrobu šroubového závitu. Dále se zkontroluje samosvornost. Nakonec se spočítají momenty a definují se parametry pro krokový motor.



Obr. 24 Schéma působení sil

Definované hmotnosti z 3D modelu:

$$m_o = 70,65 \text{ kg}$$

$$m_s = 33,95 \text{ kg}$$

$$m_r = 27,36 \text{ kg}$$

Celkový součet sil:

$$F = m * g \quad [14] \quad (6.9)$$

$$F_{G(o+s+r)} = (70,65 + 33,95 + 27,36) * 9,81 = 1294,09 \text{ N}$$

Řezná složka síly je zadaná.

$$F_{ci} = 1500 \text{ N}$$

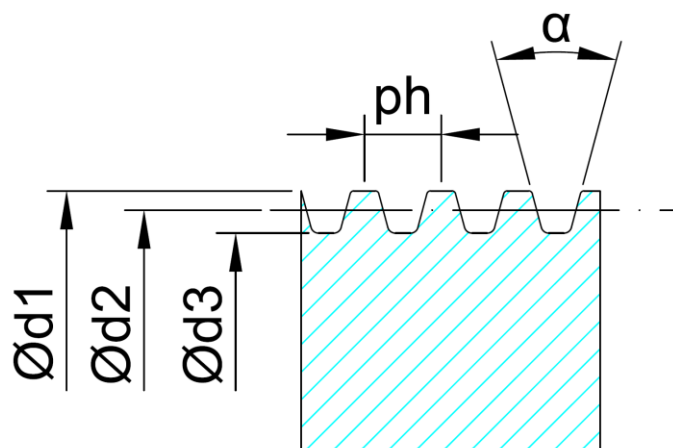
$$F_c = \sum F_i \quad [18] \quad (6.10)$$

$$F_{TR} = 1294,09 + 1500 = 2794,09 \text{ N}$$

Kde:

$F_{G(o+s+r)}$	tíhová síla od výše zmíněných částí přípravku
$m_o$	hmotnost obrobku
$m_s$	hmotnost svěráku určený pro obrobek
$m_r$	hmotnost rotačního členu
$F_{ci}$	řezná síla
$F_{TR}$	Suma sil působící externě na trapézový závit

Zvolený závit lichoběžníkový rovnoramenný TR26x5:



Obr. 25 Rozměry počítaného závitu

$$d_1 = 26 \text{ mm}$$

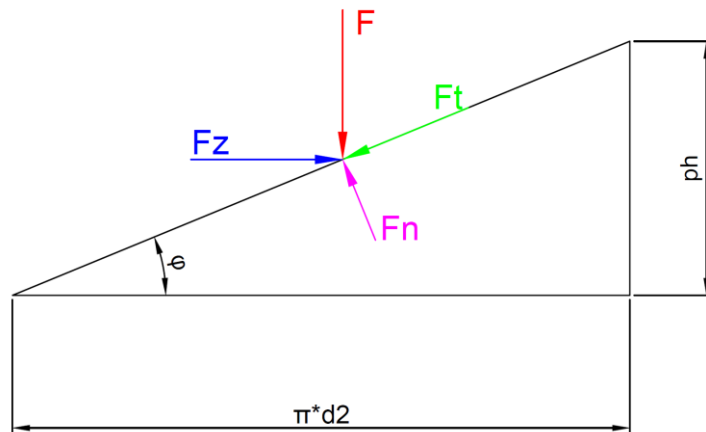
$$d_2 = 23,5 \text{ mm}$$

$$d_3 = 20,5 \text{ mm}$$

$$p_h = 5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

Výpočet úhlu stoupání závitu:



Obr. 26 Síly působící na závit

$$\tan \varphi = \frac{p_h}{\pi * d_2} \quad [18] \quad (6.11)$$

Úpravou rovnice (6.11) dostaneme vztah na výpočet úhlu stoupání závitu.

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{5}{\pi * 23,5} \right) = 3,87^\circ$$

Kde:

$\varphi$	úhel stoupání závitu
$p_h$	výška stoupání závitu
$d_2$	Střední průměr závitu
$\pi * d_2$	obvod středního průměru závitu

Kontrola samosvornosti:

Tab 1.Volba součinitele tření v závitu [18]

Materiál šroubu	Materiál matice			
	Ocel	Bronz	Mosaz	Litina
Ocel bez mazání	<b>0,15÷0,25</b>	0,15÷0,23	0,15÷0,19	0,15÷0,25
Ocel, závitový olejovaný	0,11÷0,17	0,10÷0,16	0,10÷0,15	0,11÷0,17
Bronz	0,08÷0,12	0,04÷0,06	-	0,06÷0,09

Materiál šroubu je zvolená ocel bez mazání a materiál matice je zvolená ocel.

$$f = 0,15$$

$$M_z = \frac{F_{TR} * d_2}{2} * \left[ \frac{\pi * f * d_2 + p_h * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\pi * d_2 * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f * p_h} \right] \quad [18] \quad (6.12)$$

$$M_z = \frac{2794,09 * 23,5}{2} * \left[ \frac{\pi * 0,15 * 23,5 + 5 * \cos\left(\frac{30}{2}\right)}{\pi * 23,5 * \cos\left(\frac{30}{2}\right) - 0,15 * 5} \right] = 7,4 \text{ N.m}$$

$$M_s = \frac{F_{TR} * d_2}{2} * \left[ \frac{\pi * f * d_2 - p_h * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\pi * d_2 * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + f * p_h} \right] \quad [18] \quad (6.13)$$

$$M_s = \frac{2794,09 * 23,5}{2} * \left[ \frac{\pi * 0,15 * 23,5 - 5 * \cos\left(\frac{30}{2}\right)}{\pi * 23,5 * \cos\left(\frac{30}{2}\right) + 0,15 * 5} \right] = 2,85 \text{ N.m}$$

Kde:

$M_z$	Točivý moment závitu pro zvedání břemene
$M_s$	Točivý moment závitu pro spouštění břemene
$F_{TR}$	Suma sil působící externě na trapézový závit
$d_2$	Střední průměr závitu
$f$	součinitel tření v závitu
$p_h$	úhel stoupání závitu
$\alpha$	vrcholový úhel závitu

Podle největšího momentu je zvolený krokový motor NEMA34 s kroutícím momentem 7,6 [N.m].

Kontrola pohybového šroubu:

$$n = 10$$

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2} \quad [18] \quad (6.14)$$

$$H_1 = \frac{26 - 21}{2} = 2,5 \text{ mm}$$

$$p = \frac{F_{TR}}{\pi * d_2 * n * H_1} \quad [18] \quad (6.15)$$

$$p = \frac{2794,09}{\pi * 23,5 * 10 * 2,5} = 1,51 \text{ MPa}$$

$$p_{dov(z)} \geq p \quad \text{Vyhovuje}$$

Kde:

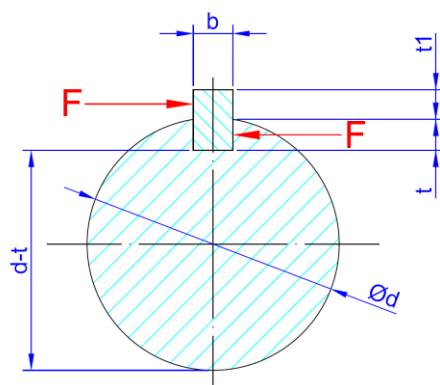
$n$	počet závitů matice
$H_1$	nosná výška závitu
$p$	reálný tlak na závitech

$p_{dov(z)}$	dovolený tlak v závitech
$d_2$	střední průměr závitu
$d$	velký průměr závitu na šroubu
$D_1$	malý průměr závitu na matici
$F_{TR}$	celková externí složka síly působící na trapézový závit

### 6.3 Kontrola drážky pro pero

Výpočty se vztahují ke kontrole drážek pro pero na otlacení.

Největší krouticí moment se bere při obrábění na obrobku 300x300x100 [mm]. Délky stran jsou 150x150 [mm]. Velikost složky řezné síly je  $F_{ci} = 1500 \text{ N}$ .



Obr. 27 Pero drážka - působení sil v záběru

Vypočet kroutícího momentu:

$$a = 150 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$F_{ci} = 1500 \text{ N}$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (6.16)$$

$$c = \sqrt{150^2 + 150^2} = 212,13 \text{ mm}$$

$$M_k = F * x \quad [18] \quad (6.17)$$

$$M_{k(p)} = 1500 * 212,13 = 318,20 \text{ N} * m$$

Kde:

$F_{ci}$	složka řezné síly
$a$	vzdálenost v ose „x“
$b$	vzdálenost v ose „y“
$c$	vzdálenost v ose „x“ a „y“ (přepona trojúhelníku)
$M_{k(p)}$	největší složka kroutícího momentu

Výpočet dovoleného tlaku:

$$p_o = 150 \text{ MPa} \quad [18]$$

$$p_{dov} = 0,8 * p_o \quad [18] \quad (6.18)$$

$$p_{dov(p)} = 0,8 * 150 = 120 \text{ MPa}$$

Kde:

$p_o$	základní hodnota tlaku pro náboj (ocel, ocel na odlitky)
$0,8 * p_o$	dovolený tlak na bocích drážek v náboji (těsná pera a drážkové spoje)

### 6.3.1 Pero drážka u šnekového soukolí

Drážka pro pero u šnekového soukolí se nachází na největším průměru  $d_{hš} = 38 \text{ mm}$

Hodnoty z tabulek:

$$b_{\text{š}} = 10 \text{ mm}$$

$$h_{\text{š}} = 8 \text{ mm}$$

$$l_{\text{š}} = 36 \text{ mm}$$

$$t_{\text{š}} = 4,7 \text{ mm}$$

$$t_{1\text{š}} = 3,3 \text{ mm}$$

Výpočet kontroly na otláčení:

$$p = \frac{2 * M_{k(p)}}{t_{1\text{š}} * (l_{\text{š}} - b_{\text{š}}) * d_{h\text{š}} * i} \quad [18] \quad (6.19)$$

$$p = \frac{2 * 318,20}{3,3 * (36 - 10) * 38 * 2} = 97,595 \text{ MPa}$$

$$p \leq p_{dov(p)} \quad \text{Vyhovuje}$$

Z důvodu kladného vyhodnocení kontroly na otláčení a minimalizování rozměrů jsou zvoleny 2 drážky pro pero s úhlovým odsazením o  $180^\circ$ . Argumentem zvolení úhlového odsazení o  $180^\circ$  je, aby u hřídele bylo zachované těžiště v místě radiálního řezu u drážek pro pero uprostřed hřídele.

Kde:

$M_{k(p)}$	největší složka kroutícího momentu
$b_{\text{š}}$	šířka těsného pera u šnekového soukolí
$h_{\text{š}}$	výška těsného pera u šnekového soukolí
$l_{\text{š}}$	délka těsného pera u šnekového soukolí
$t_{\text{š}}$	výška drážky v hřídeli u šnekového soukolí
$t_{1\text{š}}$	výška drážky v náboji u šnekového soukolí
$i$	počet per

### 6.3.2 Pero drážka u rotační desky svěrák

Drážka pro pero u šnekového soukolí se nachází na největším průměru  $d_{hd} = 30 \text{ mm}$

Hodnoty z tabulek:

$$b_d = 8 \text{ mm}$$

$$h_d = 7 \text{ mm}$$

$$l_d = 40 \text{ mm}$$

$$t_d = 4,1 \text{ mm}$$

$$t_{1d} = 2,9 \text{ mm}$$

Výpočet kontroly na otláčení:

$$p = \frac{2 * M_{k(p)}}{t_{1d} * l_d * d_{hd} * i} \quad [18] \quad (6.20)$$

$$p = \frac{2 * 318,20}{2,9 * (40 - 8) * 30 * 2} = 114,30 \text{ MPa}$$

$$p \leq p_{dov(p)} \quad \text{Vyhovuje}$$

Z důvodu kladného vyhodnocení kontroly na otláčení a minimalizování rozměrů jsou zvoleny 2 drážky pro pero s úhlovým odsazením o  $180^\circ$ . Argumentem zvolení úhlového odsazení o  $180^\circ$  je, aby u hřídele bylo zachované těžiště v místě radiálního řezu u drážek pro pero uprostřed hřídele.

Kde:

$M_{k(p)}$	největší složka kroutícího momentu
$b_d$	šířka těsného pera u desky
$h_d$	výška těsného pera u desky
$l_d$	délka těsného pera u desky
$t_d$	výška drážky v hřídeli u desky
$t_{1d}$	výška drážky v náboji u desky
$i$	počet per



## 7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro stanovení ekonomického zhodnocení je brána v úvahu cena výroby nenormalizovaných součástí, nákupu normalizovaných dílů, spojovacího materiálu, krokových motorů, montáže a lakování. Cena zařízení je odhadována na 81.690,00 Kč bez DPH viz. Tab. 2. Náklady celkové ceny jsou odhadnuté pro výrobu jednoho kusu. Při výrobě většího množství kusů bude cena upínacího přípravku nižší.

Tab. 2. Cenový odhad upínacího přípravku

POL.1	Svěrák na obrobek	13.200,00 Kč
POL.2	Rotační člen	25.085,00 Kč
POL.3	Rámová konstrukce s výš. posuvem a fix. přípravku	35.380,00 Kč
	Lakování	3.500,00 Kč
	Montážní práce	4.525,00 Kč
<b>Σ</b>	<b>Celkem bez DPH</b>	<b>81.690,00 Kč</b>

Cenový odhad počítá s cenami za výrobu 500,00 Kč/hod. Ceny za energie a za práci zaměstnance jsou napočítané v ceně výroby. Dalším důležitým faktorem je počítání ceny za materiál, který je naceněný v rozmezí od 35,00 Kč/kg do 100 Kč/kg. Cena za lakování je počítaná za rámovou konstrukci, a krytí rotačního členu.

Cenový odhad počítá s dodáním kompletní výrobní výkresové dokumentace, montážní výkresové dokumentace a výkresovou dokumentaci sestavy. Při nedodání výkresové dokumentace bude cena navýšená. Výroba s montáží a lakováním je odhadovaná na 4 až 6 týdnů.



## 8 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce je navržení přípravku na frézování dílů na univerzálním soustruhu. Kdy na nožových saních je upnutý přípravek. Do přípravku se upne obráběný materiál a na univerzálním soustruhu se do sklíčidla upne obráběcí nástroj.

Prvním úkolem je vybrat jednu ze tří konstrukčních variant, která bude mít jednoduchou konstrukci, je funkční a zároveň bude mít jednoduchý a plynulý provoz.

Základem konstrukce je rám, který se skládá ze svařených normalizovaných uzavřených profilů, které jsou běžně dostupné na trhu. Na rámovou konstrukci jsou rozebíratelným šroubovým spojením namontované domky na ložiska, vodící tyče a ostatní komponenty, sloužící k výškovému posuvu. Na vodícím šroubu trapézového závitu a vodících tyčích je uchycen rotační člen. Rotační člen se skládá ze skříně, ve které je uložený šnekový mechanismus. Šnekový mechanismus je mazaný plastickým mazivem. Ze šnekového mechanismu vystupuje hřídel, na kterou je přes válcovou desku upnutý svěrák na obrobek. Svěrák na obrobek je konstrukčně navržen z důvodu, že se nevyskytuje vhodný pevný svěrák na trhu, který by se po úpravě mohl upnout přímo k válcové desce. Na konstrukčně navržený pevný svěrák se upne obrobek, který je dimenzován na rozměry 300x300x100 mm. Kvůli poměrně velké velikosti obrobku je přípravek přizpůsoben na větší univerzální soustruhy.

Upínací přípravek by se dal optimalizovat vzhledem k hmotnosti, tuhosti a cenám. Dále by se mohla věnovat pozornost kvantitativním výpočtům kvůli kontrole na předimenzování použitých součástí v důsledku snížení hmotnosti. Následně při dynamických výpočtech zjistit kmitání upnutého přípravku, díky kterému se zvolí vhodný anti-vibrační systém.

Na základě 3D modelu upínacího přípravku je zpracována výkresová dokumentace sestavy a výrobní výkresy hřídele u rotačního členu, podstavy u svěráku na obráběný materiál a ložiskového domku u svěráku na fixaci přípravku.



## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie* 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-336-3.
- [2] Univerzální soustruh: Popis Součástí. In: *Ostravská univerzita* [online]. Ostrava: Ostravská univerzita, 2018 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/02000.html>
- [3] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [4] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno, 2003 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
- [5] KAMENICKÁ, Pavlína. *Způsoby upínání nástrojů a obrobků*. Brno, 2013, 48 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.
- [6] MIKULKA, Tomáš. *Možnosti upínání u obráběcích strojů v soudobé praxi*. Brno, 2016, 73 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
- [7] RÖHM tříčelistové sklíčidlo ZGU tříčelistové sklíčidlo ZSU. In: *BOS HK* [online]. Proboštov: BOS HK, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: [http://www.hahn-kolb.cz/cz/katalog\\_detail.php?limit\\_od=144&id\\_sortiment\\_skupiny=942&VYROBC E=&hledany\\_nazev=&hledany\\_kod=&zobrazeni=&podskupina=&id\\_katalog=8669](http://www.hahn-kolb.cz/cz/katalog_detail.php?limit_od=144&id_sortiment_skupiny=942&VYROBC E=&hledany_nazev=&hledany_kod=&zobrazeni=&podskupina=&id_katalog=8669)
- [8] Upnutí obrobku pomocí čelního unášeče ze strany od vřetena a otočného hrotu ze strany od koníku. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM Průmyslové spektrum, 2018 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/unaseni-obrabeni-na-jedno-upnuti.html>
- [9] Upínací kleština 5C pr. 24mm , vnitřní tvar - průměr. In: *Habilis Steel spol. s r.o.* [online]. Praha: Habilis Steel spol. s r.o., 2018 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: [https://habilis-shop.eu/Upinaci-klestina-5C-pr.-24mm-vnitri-tvar-prumer-p56649?gclid=EAIaIQobChMIIm-O3xsui4gIVVeR3Ch0LFAYWEAQYASABEgJ6JvD\\_BwE](https://habilis-shop.eu/Upinaci-klestina-5C-pr.-24mm-vnitri-tvar-prumer-p56649?gclid=EAIaIQobChMIIm-O3xsui4gIVVeR3Ch0LFAYWEAQYASABEgJ6JvD_BwE)
- [10] Lícni deska 4315. In: *ZJP* [online]. Zábřeh: ZJP, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.zjp.cz/licni-deska-4315/p1111>
- [11] Proma SVA-100 - Strojní svěrák Precision. In: *Elespo* [online]. Praha: Elespo, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.elespo.cz/proma-sva-100-strojni-sverak-precision>

- [12] Posuvné ocelové upínky přímé se šrouby. In: *KIPP CZ* [online]. Brno: KIPP CZ, 2018 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Up%C3%ADnac%C3%AD-technika/Obrobek-up%C3%ADnac%C3%AD-technika/Up%C3%ADnac%C3%AD-n%C3%A1%C5%99ad%C3%AD/Posuvn%C3%A9-ocelov%C3%A9-up%C3%ADnky-p%C5%99%C3%ADm%C3%A9-se-%C5%A1rouby.html>
- [13] JANÍČEK, Přemysl. *Mechanika těles: pružnost a pevnost I.* 3., přeprac. vyd., V Akademickém nakladatelství CERM 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2592-X.
- [14] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER, Petr DUB, ed. *Fyzika.* 2., přeprac. vyd. Přeložil Miroslav ČERNÝ. Brno: VUTIUM, 2013. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-4123-1.
- [15] FLORIAN, Zdeněk, Emanuel ONDRÁČEK a Karel PŘIKRYL. *Mechanika těles: statika.* Vyd. 7., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3440-0.
- [16] *Nejpoužívanější jakosti ocelí dle ČSN, další značení, popis použití* [online]. Brno: Feromat Brno, 2010 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: [http://www.feromat.cz/jakosti\\_oceli](http://www.feromat.cz/jakosti_oceli)
- [17] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření.* 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [18] SHIGLEY, Joseph, Charles MISCHKE a Richard BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí.* 2010. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

# 10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

## 10.1 Seznam tabulek

Tab 1. Volba součinitele tření v závitu [18] .....	44
Tab 2. Cenový odhad upínacího přípravku .....	49

## 10.2 Seznam obrázků

Obr. 1 Univerzální soustruh - popis součástí [2] .....	19
Obr. 2 Konzolová frézka svislá-popis součástí [3] .....	20
Obr. 3 Univerzální 3-čelistové sklíčidlo [7] .....	23
Obr. 4 Upínání mezi hroty [8] .....	23
Obr. 5 Upínací kleština [9] .....	24
Obr. 6 Upínací lící deska [10] .....	24
Obr. 7 Pevný strojní svěrák [11] .....	25
Obr. 8 Posuvné ocelové upínky přímé se šrouby [12] .....	25
Obr. 9 Univerzální dělicí přístroj [4] .....	26
Obr. 10 Schématické značení nožových sání .....	27
Obr. 13 Třetí schématický konstrukční návrh .....	28
Obr. 14 Vizualizace upínacího přípravku .....	29
Obr. 15 Upínací přípravek – popis součástí .....	31
Obr. 16 Svěrák na obráběný materiál – popis součástí .....	32
Obr. 17 Rotační člen – popis součástí .....	33
Obr. 18 Výškový posuv a rámová konstrukce – popis součástí .....	34
Obr. 19 Rámová konstrukce .....	35
Obr. 20 Svěrák na upnutí přípravku-popis součástí .....	36
Obr. 21 Hřídel v nezátíženém stavu .....	37
Obr. 22 Úplně uvolněná hřídel .....	38
Obr. 23 Rozměry hřídel .....	39
Obr. 24 Schéma působení sil .....	42
Obr. 25 Rozměry počítaného závitu .....	43
Obr. 26 Stoupání závitu .....	44
Obr. 27 Pero drážka - působení sil v záběru .....	46

## 10.3 Seznam symbolů

$b_d$	šířka těsného pera u desky	[mm]
$h_d$	výška těsného pera u desky	[mm]
$l_d$	délka těsného pera u desky	[mm]
$t_d$	výška drážky v hřídeli u desky	[mm]
$t_{1d}$	výška drážky v náboji u desky	[mm]
$i$	počet per	[-]
$M_{k(p)}$	největší složka kroutícího momentu	[N.m]

$b_s$	šířka těsného pera u šnekového soukolí	[mm]
$h_s$	výška těsného pera u šnekového soukolí	[mm]
$l_s$	délka těsného pera u šnekového soukolí	[mm]
$t_s$	výška drážky v hřídeli u šnekového soukolí	[mm]
$t_{1s}$	výška drážky v náboji u šnekového soukolí	[mm]
$p_o$	základní hodnota tlaku pro náboj (ocel, ocel na odlitky)	[MPa]
$0,8 * p_o$	dovolený tlak na bocích drážek v náboji (těsná pera a drážkové spoje)	[MPa]
$F_{ci}$	složka řezné síly	[N]
$a$	vzdálenost v ose „x“	[mm]
$b$	vzdálenost v ose „y“	[mm]
$c$	vzdálenost v ose „x“ a „y“ (přepona trojúhelníku)	[mm]
$n$	počet závitů matice	[-]
$H_1$	nosná výška závitu	[mm]
$p$	reálný tlak na závitech	[MPa]
$p_{dov(z)}$	dovolený tlak v závitech	[MPa]
$d_2$	střední průměr závitu	[mm]
$d$	velký průměr závitu na šroubu	[mm]
$D_1$	malý průměr závitu na matici	[mm]
$F_{TR}$	celková externí složka síly působící na trapézový závit	[N]
$M_z$	točivý moment závitu pro zvedání břemene	[N.m]
$M_s$	točivý moment závitu pro spouštění břemene	[N.m]
$F_{TR}$	suma sil působící externě na trapézový závit	[N]
$f$	součinitel tření v závitu	[-]
$p_h$	výška stoupání závitu	[mm]
$\alpha$	vrcholový úhel závitu	[°]
$\varphi$	úhel stoupání závitu	[°]
$p_h$	výška stoupání závitu	[°]
$\pi * d_2$	obvod středního průměru závitu	[mm]
$F_{G(o+s+r)}$	tíhová síla od výše zmíněných částí přípravku	[N]
$m_o$	hmotnost obrobku	[kg]
$m_s$	hmotnost svěráku určený pro obrobek	[kg]
$m_r$	hmotnost rotačního členu	[kg]
$F_{ci}$	řezná síla	[N]
$F_{TR}$	Suma sil působící externě na trapézový závit	[N]
$k_k$	bezpečnost k meznímu stavu pružnosti	[-]
$\sigma_{omax}$	nejvyšší hodnota napětí na zatíženém hřídeli	[MPa]
$\overline{R_e}$	aritmetický průměr z max a min meze kluzu	[MPa]
$R_{emin}$	minimální dovolené napětí meze v kluzu pro ocel 1.0050	[MPa]
$R_{emax}$	maximální dovolené napětí meze v kluzu pro ocel 1.0050	[MPa]
$d_i$	průměr hřídele v místě řezu	[mm]
$x_i$	vzdálenost hřídele v místě řezu	[mm]
$I_{yi}$	osový kvadratický moment v místě řezu	[mm <sup>4</sup> ]
$F_{G(o+s)}$	tíhová síla od obrobku a svěráku	[N]
$g$	gravitační zrychlení (konstantní),	[m/s <sup>2</sup> ]



---

$\mu_F$	neznámé silové parametry	[-]
$\mu_M$	neznámé momentové parametry	[-]
$\mu_r$	neznámé vzdálenosti	[-]
$\mu$	celkový počet neznámých	[-]
$\vartheta_F$	určení počtu volností u silových podmínek	[-]
$\vartheta_M$	určení počtu volností u momentových podmínek	[-]
$\vartheta$	celkový počet volností	[-]
$i_k$	počet stupňů volnosti pro zadaný případ	[-]
$i_v$	počet stupňů volnosti volného tělesa	[-]
$\sum \xi_i$	počet složek pohybu odebrané vazbami	[-]
$\eta$	počet deformačních parametrů odebraných stykovými vazbami	[-]



## 11 SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace sestavy	Upínací přípravek	UP-A2-1
Výkresová dokumentace podsestavy	Rám	UP-A2-01
Výkresová dokumentace podsestavy	Rotační člen	UP-A2-02
Výkresová dokumentace podsestavy	Svěrák	UP-A2-03
Výrobní výkresová dokumentace	Hřídel	UP-A3-02-23
Výrobní výkresová dokumentace	Ložiskový domek	UP-A3-01-21
Výrobní výkresová dokumentace	Podstava	UP-A3-03-05